

И. В. Морунов^{*}, С. Е. Крылова¹, С. П. Оплеснин²

¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

² ООО «Технология», г. Оренбург

^{*} *morunov.ivan@mail.ru*

Научный руководитель – доцент кафедры материаловедения
и технологии материалов *С. Е. Крылова*

ОЦЕНКА ДЕФЕКТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Произведена оценка дефектов, возникающих при реализации процесса лазерной наплавки непрерывным оптоволоконным инттербиевым лазером ЛС-2 в составе роботизированного комплекса лазерной обработки.

Приведены структурные характеристики наплавленного слоя, представляющего собой композиционную смесь порошковых материалов на коррозионностойкую сталь 20Х13.

Ключевые слова: лазерная наплавка, многокомпонентные порошковые композиции, износостойкость, коррозионно-стойкие стали, оценка дефектов.

I. V. Morunov, S. E. Krylova, S. P. Oplesnin

EVALUATION OF DEFECTS IN THE IMPLEMENTATION OF THE LASER SURFACING PROCESS IN INDUSTRIAL CONDITIONS

An estimation of the defects arising during the laser surfacing process by a continuous fiber-optic interbium laser LS-2 as part of a robotic laser processing complex was made.

Structural characteristics of the deposited layer representing a composite mixture of powder materials on corrosion-resistant steel 20X13 are given.

Keywords: laser surfacing, multicomponent powder compositions, wear resistance, corrosion-resistant steels, defect evaluation.

При реализации процесса лазерной наплавки порошковыми материалами в среде защитных газов на основе низко- и среднеуглеродистых нелегированных сталей в наплавленном слое могут возникать следующие дефекты: кристаллизационные трещины, отслоения, занижения по высоте, вырывы, вспучивания и трещины после механической обработки – рисунок 1.

Из рисунка 1 видно, что при непрерывном режиме лазерной наплавки в отдельно расположенных валиках образуются поперечные

трещины, которые находятся друг от друга на расстоянии 0,8 мм и более по длине наплавки.

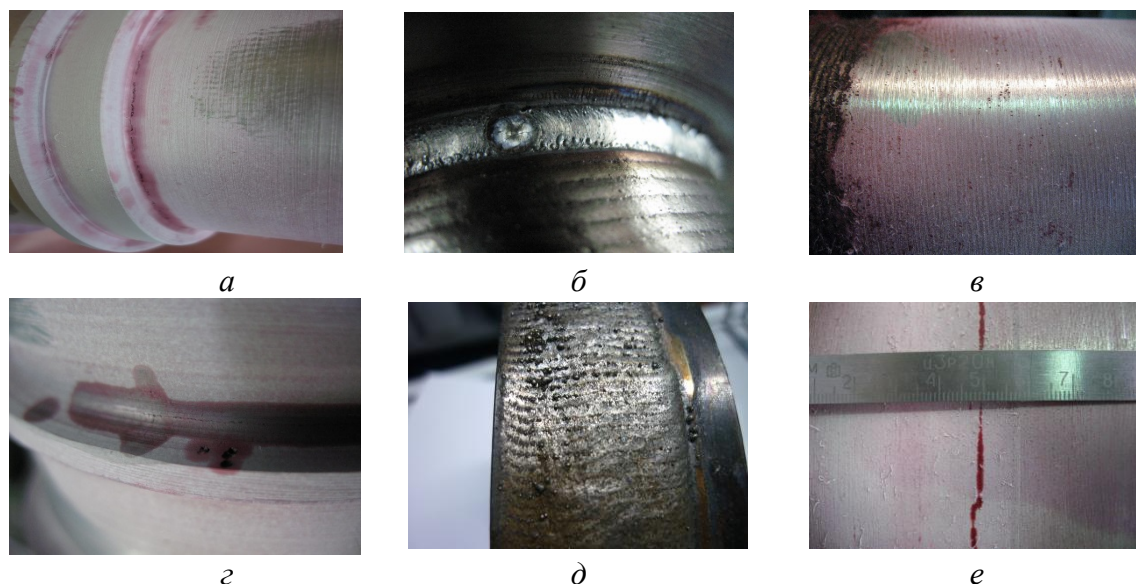


Рис. 1. Виды дефектов в наплавленных покрытиях:

а – Кольцевой непровар в области галтели, *б* – трещинообразование в области кратера, *в* – занижение по высоте, *г* – вырывы, *д* – вспучивание, *е* – трещины после механической обработки

В слое, состоящем из нескольких перекрывающих друг друга валиков, наряду с поперечными трещинами, переходящими из валика в валик, образуются продольные трещины. Это характерно при использовании порошков системы Ni–Cr–B–Si, а также на основе меди и железа.

Иной характер носят трещины при наплавке технически чистого никеля, а также хрома. В валиках образуются радиально расположенные трещины, при чем они присутствуют и в последней точке воздействия лазерного пучка (кратер) – рис. 1 (*б*).

При наплавке порошками на основе карбида вольфрама трещины ориентированы как в продольном, так и в поперечном направлениях в виде сетки.

Наиболее исследованы порошковые материалы системы Ni–Cr–B–Si. Зародыши трещин располагаются по зонам срастания дендритов, имеют длину от 20 до 140 мкм и, как правило, не выходят на поверхность наплавки. Трещины большой протяженностью, идущие перпендикулярно от линии сплавления к поверхности валика, пересекают как элементы первичных форм кристаллизации в виде дендритов, так и межкристаллитные, и носят прямолинейный характер, рис. 2 [1].



Рис. 2. Сетка трещин по зонам срастания дендритов

Опыт использования в качестве наплавочных композитных порошковых материалов на основе никелевых сплавов с использованием концентрированных источников нагрева дает положительные результаты повышения стойкости против образования кристаллизационных трещин. Высокие скорости охлаждения уменьшают процессы ликвации, способствуя сужению температурного интервала хрупкости за счет смещения его нижней границы в высокотемпературную область. При этом повышается деформационная способность металла, а также снижаются максимальные значения продольных и поперечных деформаций в оплавленном металле, что резко повышает технологическую прочность.

Скорость наплавки оказывает неоднозначное влияние на склонность металла валика в образовании трещин. Увеличение мощности лазерного излучения приводит к увеличению склонности наплавляемого металла к появлению трещин.

Фактографические исследования поверхности трещин (рис. 3) позволяют определить характер разрушения, и установить в каком состоянии находится металл во время образования трещины.

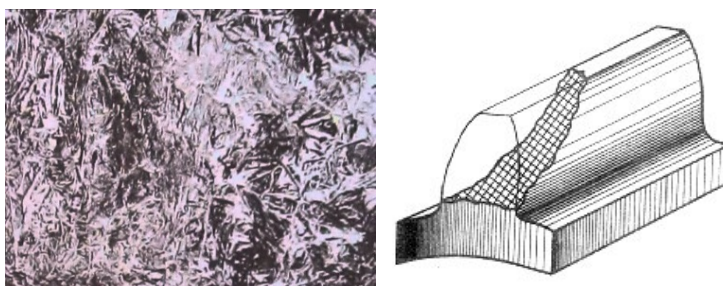


Рис. 3. Фактографический излом наплавленного слоя

На механизм образования трещин оказывает влияние массовый расход подаваемого порошка. С повышением расхода порошка растет высота наплавленного слоя, а так же разность температур предыдущего и последующего валика, что приводит к увеличению упругопластических деформаций растяжения металла в ТИХ и, как результат, возрастанию трещинообразования. При этом повышается и уровень остаточных

напряжений, способствуя распространению трещин в низкотемпературной зоне.

В то же время со снижением расхода подавляемого порошка при постоянной плотности и мощности лазерного излучения происходит дополнительный подогрев металла, основы, в процессе наплавки в ТИХ и, следовательно, уменьшению коэффициента трещинообразования.

Предварительный подогрев наплавляемой детали уменьшает вероятность образования трещин. Повышение температур подогрева самого порошка ведет к уменьшению количества трещин [2].

Другим распространенным дефектом являются поры в наплавленных валиках, рис. 1(д). Для того чтобы устранить поры и избежать образования трещин, производят прокалку присадочных материалов в сушильных шкафах при температуре 150–200 °С в течение 2–3 часов. На порообразование оказывает влияние и гранулометрический состав порошка, так как от него зависит так же производительность процесса наплавки, коэффициент использования присадочного материала, технологическая прочность и поглощательная способность. Обычно применяют порошковый материал с диаметром частиц 40–160 мкм, позволяющий существенно уменьшить или полностью исключить порообразование в наплавленных валиках. Для получения порошка необходимой грануляции он должен быть предварительно просеян для разделения его на фракции по крупности частиц. Просев выполняется на механизированных установках или вручную с помощью специальных сит [3].

С соблюдением вышеуказанных положений и требований к наплавочным материалам выполнили процесс лазерной наплавки на оборудовании непрерывный иттербиевый волоконный лазер ЛС-2 (ООО «НТО «ИРЭ-Полус», Россия). В качестве основы выбрана коррозионностойкая сталь 20Х13. Применение: энергетическое машиностроение и печестроение; турбинные лопатки, болты, гайки, арматура крекинг-установок с длительным сроком службы при температурах до 500 градусов; сталь мартенситного класса.

Таблица 1

Химический состав стали 20Х13 по ГОСТ 5632–72

Химический состав, %							
С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe
0,16–0,25	0,6	0,6	0,6	0,025	0,03	12–14	~84

В качестве наплавочной композиции применяем ПР-20Х13Н2:ПР-НХ17СР3 в соотношении 3 : 1.

Таблица 2

Химический состав порошка ПР-20Х13Н2

Номинальный химический состав, %				
Основные компоненты				
Fe	Cr	Ni	Mn	C
основа	13,0	2,2	0,8	0,2

Таблица 3

Химический состав порошка ПР-НХ17СР3

Номинальный химический состав, %					
Основные компоненты					
Ni	C	Cr	Si	B	Fe
основа	1,0	17,0	3,1	3,1	< 5

После лазерной наплавки провели микроскопический анализ наплавленного слоя и диффузионной зоны на световом микроскопе Микровизор. Результаты структурного анализа представлены на рис. 4.

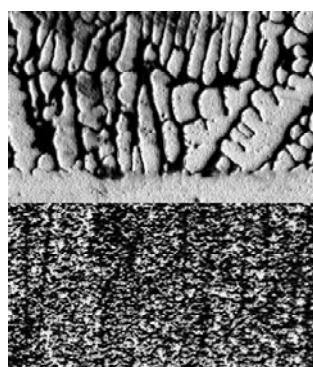


Рис. 4. Металлография поверхностного слоя при лазерной наплавке

Микроскопический анализ и дюротрические исследования наплавленного слоя и зоны сплавления показывают, что структура поверхностного слоя представляет собой мартенсит с равномерно распределенными карбидными включениями, типа $(Cr, Fe)_{23}C_6$. Ближе к зоне сплавления наблюдается структура, состоящая из вытянутых столбчатых кристаллов, имеющих неправильную форму и направление роста, соответствующее теплоотводу и пропорциональное градиенту температур. Переходного слоя, резко отличающегося от основного металла, при этом не образуется, граница сплавления еле видна на микрофотографиях.

Таким образом, разработанный режим лазерной наплавки обеспечивает формирование износостойкого слоя, соответствующего

техническим требованиям ТКД на ремонт и восстановление изношенной детали. Получено бездефектное высоколегированное покрытие с твёрдостью 50–55 HRC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: учебник / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 664 с.
2. Шевченко О. И. Управление структурой, составом и свойствами покрытий при плазменной наплавке / О. И. Шевченко. Нижний Тагил: НТИ (фил.) УГТУ–УПИ, 2006. 290 с.
3. Морунов И. В. Применение лазерной наплавки для упрочнения и восстановления деталей машиностроения / И. В. Морунов, С. Е. Крылова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет, 2017. С. 159–162.